Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 61-77

Effect of Aloe Vera Gel on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of Low-Fat Mayonnaise

M. Akbari[1], M.J. Varidi[2]*, M. Varidi[2], H. Yarabbi[3]

1, 2 and 3- Master's Degree, Professor and Ph.D., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mjvaridi@um.ac.ir)

Received: 08.08.2024 Revised: 07.10.2024 Accepted: 13.10.2024 Available Online: 16.02.2025	**How to cite this article:** Akbari, M., Varidi, M.J., Varidi, M., & Yarabbi, H. (2025). Effect of Aloe Vera Gel on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of Low-Fat Mayonnaise. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(1), 61-77. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89260.1354

Introduction

Mayonnaise is one of the world's most popular sauces. It is a semi-solid oil-in-water emulsion made by mixing vegetable oil, egg yolk, water, vinegar, and other ingredients. Due to the high calorie and cholesterol content of egg yolks, excessive consumption of mayonnaise can lead to health-related problems. Major issues faced by mayonnaise producers include fat oxidation during storage, which leads to off-flavor and taste, as well as reduction in nutritional value and food safety. These factors may negatively affect on the consumer acceptance of mayonnaise. With increasing consumer demand for low-fat and low-cholesterol foods, low-fat mayonnaise has significant consumption potential. One of the consumer demands is to reduce the fat content in mayonnaise and salad dressing. Fats play many functional roles in food emulsions, contributing to the taste, appearance, texture, and shelf life of the product in specific ways. Therefore, it is challenging to maintain the quality of traditional products when preparing low-fat foods. It is possible to select specific fat substitutes in particular amounts to create a product with a texture similar to traditional mayonnaise. Light mayonnaise often contains certain fats added to help stabilize the emulsion and thicken its consistency. This research studied the possibility of using aloe vera gel as partial fat substitute in mayonnaise.

Materials and Methods

All the powdered ingredients were mixed together with eggs, water, and half of the required amount of vinegar in a blender for 3 minutes. To form an emulsion, oil was added in two stages while stirring together with starch and gums for 5 minutes. Mixing oil and the aqueous phase simultaneously leads to the formation of a water-in-oil emulsion. Finally, the remaining vinegar was added and mixed for 3 minutes until the fat particles were evenly dispersed in the sauce. Aloe Vera gel was also added in proportion to the reduction of oil according to the formulation of the samples. The optimal mixture design was used for three independent variables: oil A 15-60%, gel B 0-55%, and water C 0-10%. The multiple combinations of these variables led to an experimental design with 16 samples that were determined using Design Expert software, and the physicochemical, rheological, and textural characteristics of the samples were investigated. Additionally, suitable regression equations and mixed contour diagrams were obtained by this software for each response.

Results and Discussion

The results showed that increasing the replacement percentage of aloe vera gel and decreasing the percentage of oil led to an increase in pH and a decrease in acidity, stability, textural properties, and transparency of the samples. To describe the rheological properties, Bingham's model was used, and the viscosity parameters and Bingham's yield stress were investigated with an increasing the percentage of aloe vera gel replacement.

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89260.1354

Additionally, the apparent viscosity of the samples exhibited a decreasing trend and thinning behavior with shear. These changes in characteristics are attributed to the effect of adding fat to the mayonnaise formulation. The optimal values of independent variables in the production of low-fat mayonnaise were oil (40%), aloe vera gel (30%) and water (0%), respectively.

Conclusion

This research showed that aloe vera gel can be used in the formulation of mayonnaise as apartial substitute to oil. Due to the strong demand from consumers for this product, reformulating this high-fat emulsion is a fundamental need in the food industry. The use of aloe vera gel offers many benefits, including reducing cholesterol and fat levels overall, increasing microbiological stability, and, in some cases, lowering manufacturing costs.

Acknowledgement

Thanks to the staff and research and educational officials of Ferdowsi University of Mashhad (Project Code: 2663532).

Keywords: Aloe vera gel, Low fat, Mayonnaise, Optimization

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۷۷-۶۱

اثر ژل آلوئه‌ورا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی سس مایونز کم‌چرب

مریم اکبری[۱]- محمد جواد وریدی[۲]- مهدی وریدی[۲]- هانیه یاربی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲

چکیده

سس مایونز یکی از سس‌های پرطرفدار در جهان است که یک امولسیون نیمه جامد روغن در آب است که از مخلوط کردن روغن نباتی، زرده تخم‌مرغ، آب، سرکه و غیره تهیه می‌شود. به دلیل کالری و کلسترول بالای زرده تخم‌مرغ مصرف بیش از حد سس مایونز اغلب باعث مشکلات مرتبط با سلامتی می‌شود. مشکلات عمده‌ای که تولیدکنندگان سس مایونز با آن مواجه هستند شامل اکسیداسیون چربی در طول ذخیره‌سازی است که منجر به طعم بد محصول و همچنین کاهش ارزش غذایی و ایمنی مواد غذایی می‌شود. این عوامل ممکن است پذیرش مصرف‌کننده از سس مایونز را کاهش دهد. با افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهای کم‌چرب و کم کلسترول، سس مایونز کم‌چرب پتانسیل مصرف بالایی دارد. لذا اصلاح فرمولاسیون این امولسیون پرچرب نیاز اساسی در صنعت غذا است. در این پژوهش امکان استفاده از ژل آلوئه‌ورا به‌عنوان جایگزین چربی در سس مایونز مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از طرح مخلوط بهینه برای سه متغیر مستقل روغن A ٪۶۰-۱۵، ژل B ٪۵۵-۰ و آب C ٪۱۰-۰ استفاده شد. ترکیب چندگانه از این متغیرها منجر به یک طرح آزمایشی با ۱۶ نمونه گردید که با استفاده از نرم‌افزار Design Expert تعیین شدند، و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین معادلات رگرسیونی مناسب و نمودار کانتور مخلوط به‌وسیله این نرم‌افزار برای هر پاسخ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا وکاهش درصد روغن منجر به افزایش pH وکاهش اسیدیته، پایداری، خواص بافتی و شفافیت نمونه‌ها گردید. به‌منظور توصیف خواص رئولوژیکی از مدل بینگهام استفاده شد و بررسی پارامترهای ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا، روند کاهشی داشت. همچنین ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها سیر نزولی و رفتار رقیق شونده با برش نشان داد. این تغییرات در ویژگی‌ها، به‌دلیل تأثیر بسزای چربی در فرمولاسیون سس مایونز می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده، مقادیر بهینه متغیرهای مستقل به‌ترتیب روغن (٪۴۰)، ژل آلوئه‌ورا (٪۳۰) و آب (٪۰) جهت تولید مایونز کم‌چرب بود. بهینه‌سازی فرمولاسیون براساس متغیرهای مستقل و پاسخ‌های بهینه‌یابی نشان داد که ژل آلوئه‌ورا به‌تنهایی در حد ٪۳۰ قابلیت استفاده در سس مایونز را دارد. بنابراین، ژل آلوئه‌ورا قابلیت استفاده در سس مایونز به‌عنوان جایگزین بخشی از روغن را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، ژل آلوئه‌ورا، سس مایونز، کم‌چرب

مقدمه

سس مایونز، امولسیون نیمه‌جامد روغن در آب است که از امولسیون شدن روغن‌های گیاهی خوراکی (حداقل ٪ ۶۵) در یک فاز مایع حاوی سرکه به وجود می‌آید و توسط ترکیبات امولسیفایری موجود در زرده تخم مرغ پایدار می‌گردد. pH آن نیز بین ۳/۶-۴ است (Majidova *et al.*, 2024). این محصول در سال‌های اخیر به‌عنوان چاشنی و عامل اشتهاآور، در کنار غذاها مصرف فراوانی پیدا کرده است، ولی به‌علت بالا بودن مقادیر فراوان روغن، مصرف زیاد این فرآورده توصیه نمی‌شود؛ زیرا موجب بروز بیمارهایی چون چاقی، تصلب شرائین و نارسایی‌های قلبی می‌شود (Park *et al.*, 2020). از این‌رو، در طول دهه گذشته، مصرف محصولات کم‌چرب اهمیت فراوانی پیدا کرده است و تولیدکنندگان در راستای پاسخ به این نیاز مصرف‌کنندگان، به‌دنبال تولید محصولات کم‌چرب می‌باشند که مایونز کم‌چرب یکی از این موارد است (Kaneda & Shibata, 2020). چنانچه میزان چربی به ۵۵-۴۰ ٪ کاهش یابد، سس مایونز با چربی کاهش یافته نامیده می‌شود و اگر به ۲۰-۳۳ ٪ کاهش یابد، سس مایونز کم‌چرب محسوب می‌شود. باتوجه

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب کارشناسی ارشد، استاد و دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mjvaridi@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89260.1354

به نقش چربی در فرمولاسیون سس مایونز و تأثیر بهسزای آن در ایجاد طعم، با کاهش میزان چربی در این فرآورده، ویژگی‌های حسی و رئولوژیکی بهشدت تغییر می‌کنند (Blok *et al.*, 2023). بنابراین، موضوع جایگزین کردن بخشی از روغن با موادی که بتوانند نقش روغن را در فرمولاسیون سس مایونز داشته باشند، ضروری می‌باشد. تاکنون به‌عنوان جایگزین چربی اغلب از انواع صمغ‌ها و پروتئین‌ها استفاده شده است. این ترکیبات با افزایش ویسکوزیته و قوام فاز پیوسته مانع تحرک قطرات روغن شده و از بههم پیوستن آن‌ها جلوگیری می‌کنند، به این ترتیب باعث تثبیت امولسیون می‌شوند، همچنین با تشکیل لایه‌های بین سطحی قوی در اطراف ذرات فاز پراکنده (روغن) به‌عنوان پایدارکننده عمل می‌کنند (Park *et al.*, 2020; Jafarpour, 2022). نتایج تحقیقات پارک و همکاران (Park *et al.*, 2020) نشان داد که نشاسته اصلاح‌شده، اکتنیل سوکسینیک انیدرید–نشاسته و اسید سیتریک –نشاسته در ۳۰٪ به‌عنوان جایگزین جزئی چربی تنش عملکرد بالا را نشان دادند. مدول الاستیک (G') سس مایونزهای کم‌چرب کمتر از سس مایونز پرچرب بود، اما سس مایونز با نشاسته اصلاح شده، انیدرید اکتنیل سوکسینیک– نشاسته و اسید سیتریک – نشاسته G' بالاتری نسبت به سایر نشاسته‌های اصلاح‌شده داشتند. سس مایونزهای کم چرب، پایداری امولسیونی بالاتری نسبت به پرچرب نشان دادند، به‌ویژه آنهایی که دارای نشاسته اصلاح‌شده، اکتنیل سوکسینیک انیدرید–نشاسته و اسید سیتریک –نشاسته بودند. تقوی و همکاران (Taghavi *et al.*, 2024) از نشاسته اصلاح‌شده برنج (۱۰، ۳۰ و ۵۰ ٪) در فرمولاسیون سس مایونز کم‌چرب استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که تا ۳۰ ٪ جایگزینی روغن با نشاسته اصلاح شده برنج، پایداری امولسیون سس مایونز به خوبی حفظ می‌شود. اودپ و همکاران (Odep *et al.*, 2024) خواص شیمیایی–شیمیایی و حسی جایگزین سس مایونز تهیه شده از موسیلاژ چیا (*Salvia hispanica* L.) در سطوح ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ ٪ و صمغ عربی ۳ ٪ را بررسی کردند. این محققین گزارش کردند که تمامی سس مایونزهای کم‌چرب، انرژی به میزان ۴۹۳ کیلوکالری در ۱۰۰ گرم و ۲۰ ٪ چربی داشتند، اما محتوای آب بالاتری ۰/۷۴ نسبت به نمونه شاهد (سس مایونز پرچرب) با ۷۸۴ کیلوکالری در ۱۰۰ گرم کالری، ۷۷ ٪ چربی و ۰/۳۹ رطوبت بودند. این تفاوت‌ها با افزایش سطوح جایگزینی موسیلاژ چیا افزایش یافت که بر pH، کربوهیدرات و پروتئین تأثیر گذاشت. تفاوت معنی‌داری بین میزان خاکستر برای سس مایونز کم‌چرب و شاهد وجود نداشت.

آلوئه‌ورا گیاهی چندساله از راسته Asparagales تیره Liliaceae می‌باشد که بومی مناطق حاره آفریقا است. این گیاه دارای دو محصول اصلی، شامل بخش مایع، حاوی تراوش‌های زرد رنگ و تلخ‌مزه و بخش نیمه جامد، حاوی سلول‌های بافت پارانشیمی برگ، که دارای ژلی شفاف و چسبناک می‌باشند (Adhav *et al.*, 2020). این ژل که عمده‌ترین بخش مورد استفاده گیاه است؛ شامل آب (بیش از ۹۸ ٪) و همچنین ترکیبات پلی‌ساکاریدی نظیر پکتین، سلولز، همی سلولز، گلوکومانان و مانوز می‌باشد، بنابراین به‌دلیل حضور پلی‌ساکاریدهای مختلف که سبب جذب آب زیادی می‌شوند، ژل آلوئه‌ورا می‌تواند بر روی قوام و گرانروی محصول نقش مؤثری داشته باشد (Sonawane *et al.*, 2021). با توجه به موارد فوق، هدف از این مطالعه بهینه سازی سس مایونز کم‌چرب با استفاده از ژل آلوئه ورا به‌عنوان جانشین قسمتی از چربی می‌باشد. برای این منظور خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی نمونه‌های مایونز تهیه شده در غلظت‌های مختلف ژل آلوئه ورا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه شامل روغن مایع آفتابگردان، تخم مرغ، سرکه سفید گلچکان زمانی (۵ ٪ اسیدیته)، پودر خردل، نمک، شکر، صمغ زانتان و گوار، نشاسته، آب، آبلیمو، فلفل و ژل آلوئه‌ورا از بازار روز مشهد خریداری شدند که درصد هر یک از اجزاء فرمولاسیون در جدول ۱ ذکر شده است (Raikos *et al.*, 2020). برگ‌های آلوئه‌ورا نیز از گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید.

جدول ۱- اجزاء فرمولاسیون سس مایونز

Table 1- Mayonnaise formulation components

مواد اولیه Raw materials	درصد Percentage (w/w)
تخم مرغ Eggs	10
روغن Oil	60
سرکه Vinegar	6
آبلیمو Lemon juice	1.5
نمک Salt	0.6
پودر خردل Mustard powder	0.4
فلفل Pepper	0.2
شکر Sugar	3
آب Water	12.3
صمغ زانتان Xanthan Gum	0.5
صمغ گوار Guar gum	0.5
نشاسته Starch	5

تهیه سس مایونز

ابتدا کلیه مواد پودری به‌همراه تخم مرغ، آب و یک‌دوم میزان سرکه مورد نیاز درون مخلوط‌کن به‌مدت ۳ دقیقه همزده شدند. سپس روغن به‌منظور تشکیل امولسیون به‌تدریج، در طی دو مرحله در حین همزدن

به‌همراه نشاسته و صمغ‌ها در مدت‌زمان ۵ دقیقه اضافه گردید. مخلوط کردن روغن و فاز آبی به‌یکباره منجر به تشکیل امولسیون آب در روغن می‌شود. در نهایت باقی‌مانده سرکه افزوده شد و در مخلوط‌کن KENWOOD مدل 43M3 با دور rpm ۱۰۰۰۰ به‌مدت ۳ دقیقه مخلوط گردید تا ذرات چربی به‌طور یکنواخت در سس پراکنده شوند (Yang *et al.*, 2020). ژل آلوئه‌ورا نیز به نسبت کاهش روغن مطابق جدول ۲ اضافه گردید.

جدول ۲- مشخصات تیمارها در فرمولاسیون سس مایونز کم چرب

Table 2- Characteristics of treatments in the formulation of low-fat mayonnaise

نمونه Sample	(A%) روغن Oil	(B%) ژل آلوئه‌ورا Aloe vera gel	(C%) آب Water
1	60	10	0
2	15	49.099	5.901
3	42.128	17.872	10
4	38.248	27.861	3.890
5	60	0	10
6	32.313	37.687	0
7	60	10	0
8	50.674	19.326	0
9	20.302	39.698	10
10	20.302	39.698	10
11	38.248	27.861	3.890
12	51.072	8.928	10
13	15	55	0
14	60	0	10
15	24.246	45.754	0
16	15	49.099	5.901

آزمون های فیزیکوشیمیایی

pH و اسیدیته

۵ g از نمونه در ۲۰ mL مقطر رقیق شد و سپس با استفاده از pH متر (Swiss Metrohm-827)، pH آن اندازه‌گیری گردید (Li *et al.*, 2020). جهت تعیین اسیدیته نیز، نمونه رقیق شده با استفاده از سود ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالئین تا ظهور رنگ صورتی روشن تیتر شد. سپس اسیدیته برحسب اسید استیک محاسبه گردید (Yang *et al.*, 2020). در این فرمول a حجم سود مصرفی (mL) و s وزن نمونه (g) می‌باشد.

$$\text{اسیدیته} = (۰/۰۰۶a \times ۱۰۰)/s$$

پایداری فیزیکی و حرارتی

حجم مشخصی از نمونه‌های سس مایونز به‌مدت ۳۰ دقیقه در rpm ۵۰۰۰ سانتریفیوژ (Eppendorf-5430, Germany) شدند و سپس مقدار شاخص پایداری فیزیکی امولسیون با توجه به حجم امولسیون باقی‌مانده، محاسبه گردید. همچنین جهت تعیین ثبات مایونز در برابر حرارت مراحل قبل تکرار و نمونه‌ها قبل از سانتریفیوژ، به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۸۰ °C قرار داده شدند و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در rpm ۵۰۰۰ سانتریفیوژ گردیدند (Li *et al.*, 2020).

$$\text{پایداری فیزیکی امولسیون} = (\text{حجم امولسیون باقیمانده})/(\text{حجم کل امولسیون}) \times ۱۰۰$$

خواص رئولوژیکی

به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی از ویسکومتر دورانی بوهلین (UK- Malvern-Visco 88) مجهز به سیرکولاتور حرارتی استفاده گردید. با توجه به ویسکوزیته نمونه‌ها، از اسپیندل باب و کاپ $C_{۲۵}$ جهت انجام آزمون‌ها استفاده شد. برای هر آزمون تقریباً ۱۲ g از نمونه در داخل کاپ ریخته شد سپس در تماس با باب و سیرکولاتور قرار گرفت. پس از رسیدن به دمای ۲۵ °C، دامنه درجه برش s^{-1} ۱۴– ۳۰۰ بر ثانیه اعمال شد و داده‌های مربوط به تنش برشی–درجه برشی (منحنی‌های جریان) به‌دست آمد. دستگاه ویسکومتر مجهز به نرم‌افزار کامپیوتری بوده و شرایط کاری آن کاملاً قابل کنترل بود. به‌منظور توصیف رفتار جریان نمونه‌های مایونز و به‌دست آوردن پارامترهای رئولوژیکی از مدل بینگهام به‌شرح ذیل استفاده گردید.

$$\tau = k\dot{\gamma} + \tau_0$$

در مدل فوق (τ) تنش برشی (Pa)، $(\dot{\gamma})$ سرعت برشی (s^{-1})، k ویسکوزیته بینگهام (Pa.s) می‌باشد. به‌منظور ارزیابی حسی و احساس دهانی، ویسکوزیته ظاهری در سرعت برشی s^{-1} ۵۰ گزارش شد (Ozcan *et al*., 2023).

رنگ‌سنجی

جهت اندازه‌گیری رنگ، از دستگاه (Minolta Konica, CR-410, Japan) استفاده شد. طی این آزمون پارامترهای رنگ (*L، *a و b) تعیین شد (Blok *et al*., 2023).

ویژگی‌های بافتی

به‌منظور سنجش بافت نمونه‌ها از دستگاه آنالیز بافت (TAXT plus, England) استفاده شد. آزمون به روش اکستروژن برگشتی و با استفاده از ظرف اندازه‌گیری با ارتفاع 55 mm و قطر داخلی 45 mm و پروب با قطر 35 mm انجام شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه 1 mm/s و عمق نفوذ آن 20 mm درنظر گرفته شد. با استفاده از منحنی نیرو-زمان، صفات بافتی شامل سفتی[1]، قوام[2]، نیروی چسبندگی[3] و چسبندگی (اندیس ویسکوزیته[4]) به‌دست آمد (Jafarpour, 2022).

ارزیابی حسی

تعداد ۱۲ نفر به‌عنوان ارزیاب انتخاب شدند. جهت ارزیابی حسی، از مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد که در آن عدد ۱ نشان‌دهنده پایین‌ترین امتیاز و عدد ۵ نیز بیانگر بالاترین امتیاز است. شاخص‌های حسی شامل ظاهر (شفافیت و یکنواختی)، رنگ، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی هر نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت (Li *et al*., 2020).

آنالیز آماری

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل روغن (A)، ژل آلوئه‌ورا (B) و آب (C) بر پاسخ‌ها از نمودار مخلوط اپتیمال[5] استفاده شد. دامنه تغییرات روغن ۶۰-۱۵٪، ژل آلوئه‌ورا ۵۵-۰ ٪ و آب ۱۰-۰ ٪ بود. در همه نمونه‌ها مجموع ۳ متغیر ۷۰٪ درنظر گرفته شد. برای طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج، از نرم‌افزار Design Expert (نسخه ۱۰) استفاده شد. از مدل درجه دو برای برازش پاسخ‌های حاصل استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی صحت مدل، مقادیر R^2، R^2 تصحیح شده و p ضرایب تعیین شدند.

$$Y= \beta_1X_1+ \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3$$

نتایج و بحث

pH و اسیدیته

باتوجه به معادله Y_1 در جدول ۱ پیوست، متغیرهای روغن، ژل و آب تأثیر خطی معنی‌داری در سطح احتمال (p<۰/۰۰۱) و متغیرهای روغن-ژل (AB) تأثیر متقابل معنی‌داری در سطح احتمال (p<۰/۰۵) دارند. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب)، pH افزایش یافته است (شکل ۱). این تغییر به‌دلیل کاهش غلظت یون هیدروژن در اثر pH ژل آلوئه‌ورا است که در محدوده (۴-۵) می‌باشد، زیرا محیط سس مایونز حالت بافری ندارد (Li *et al*., 2020). بااین‌حال، با توجه به شکل ۱، pH نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار داشت. از طرفی افزایش pH را می‌توان به افزایش فاز آبی نسبت داد، چون بیش از ۹۹-۹۸ ٪ ژل آلوئه‌ورا را آب تشکیل می‌دهد که جزء اصلی ژل می‌باشد که با نتایج شایگان نیا و همکاران (Shaygannia *et al*., 2021) که استدلال کردند به‌واسطه وجود آب زیادتر و درنتیجه رقیق شدن اسید میزان pH نمونه‌های کم‌چرب بیشتر است، مطابقت داشت. نتایج مدل آزمون اسیدیته در جدول ۱ پیوست، نشان‌دهنده معنی‌داری تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) در سطح احتمال (p<۰/۰۰۱) بود. براساس شکل ۱ اسیدیته می‌توان دریافت که اثر متقابل روغن-ژل روند کاهشی داشته است. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب)، اسیدیته کاهش یافته است، که با نتایج به‌دست آمده از آزمون pH مطابقت داشت. دلیل کاهش اسیدیته، کاهش غلظت اسیدهای آلی در پی افزایش فاز آبی حاصل شده می‌باشد. دامیان و همکاران (Damian *et al*., 2018) نیز دریافتند که سس مایونزهای کم‌چرب ارزش کالری کمتر، فعالیت آبی و مقادیر pH بالاتری نسبت به سس مایونز نمونه شاهد داشتند.

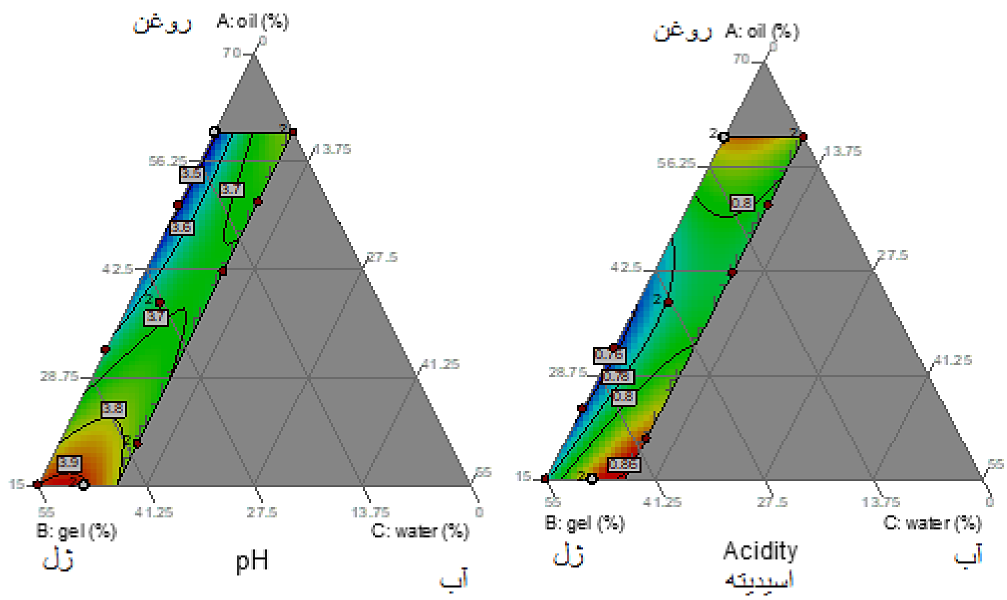
ویژگی‌های رئولوژیکی

شکل ۲، رفتار جریان برخی نمونه‌های سس مایونز را برحسب تنش برش- درجه برش نشان می‌دهد. از آنجایی که رابطه بین تنش برشی-درجه برش غیرخطی است، بنابراین نمونه‌های سس مایونز از نظر رئولوژیکی جزء سیالات غیرنیوتنی طبقه‌بندی می‌شوند، در این پژوهش از مدل قانون بینگهام برای توصیف رفتار جریان رئولوژیکی مستقل از زمان نمونه‌ها استفاده شد.

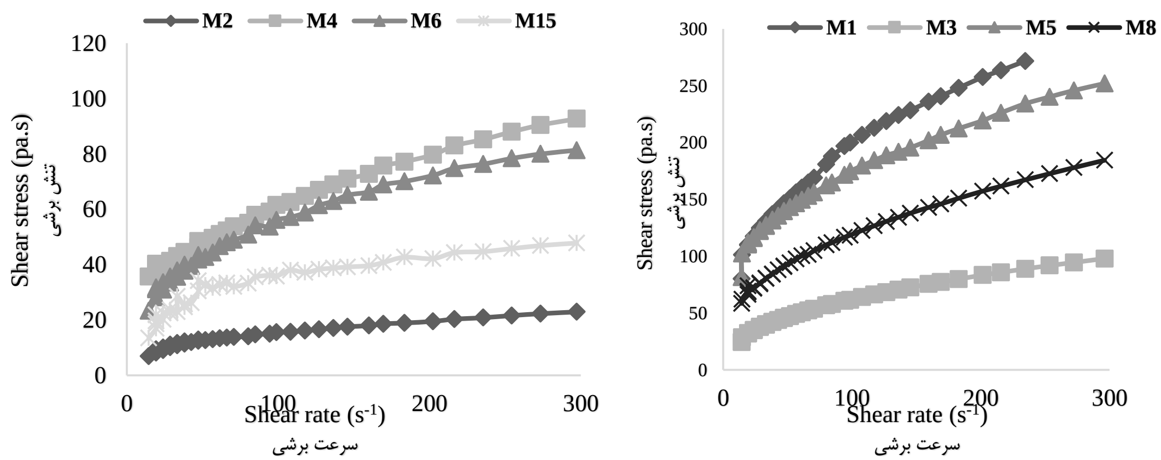
1- Firmness
2- Consistency
3- Cohesiveness
4- Viscosity
5- Optimal Mixture Design

ویسکوزیته و تنش تسلیم مدل بینگهام

باتوجه به مدل‌های پیشگویی داده‌های ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام در جدول ۲ پیوست، تأثیر خطی متغیرهای روغن، ژل و آب و تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) در سطح احتمال ($p<0.001$) معنی‌دار بودند. بنابراین براساس معادله Y_3 و Y_4 در جدول ۱ پیوست و شکل ۳، a و b که نشان‌دهنده تأثیر متقابل روغن-ژل می‌باشد با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام کاهش یافته است.



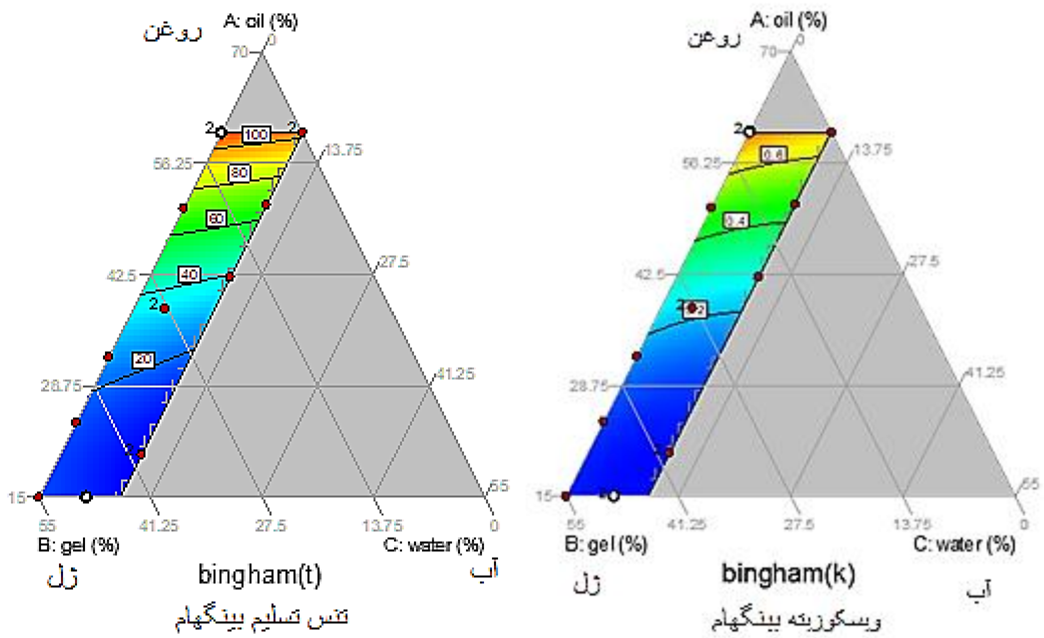
شکل ۱- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر pH و اسیدیته نمونه‌های مایونز کم‌چرب
Fig. 1. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the pH and acidity of low-fat mayonnaise samples



شکل ۲- منحنی‌های جریان نمونه‌های سس مایونز
Fig. 2. Flow curves of the mayonnaise samples

دامیان و همکاران (Damian *et al*., 2018) در پژوهش خود با بررسی استفاده از آگار و صمغ زانتان در فرمولاسیون سس مایونز کم‌چرب به این نتیجه دست یافتند که تنش تسلیم متناسب با افزایش حجم فاز پراکنده (روغن) و قدرت جاذبه بین قطرات روغن افزایش

می‌یابد. کاتساروس و همکاران (Katsaros *et al.*, 2020) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. چادل و همکاران (Schädle *et al.*, 2022) با بررسی رفتار وابسته به زمان سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با غلظت‌های مختلف دکسترین ذرت گزارش نمودند که تنش تسلیم که تنش برشی اولیه موردنیاز برای شکست ساختار محصول در هنگام اعمال برش می‌باشد با کاهش میزان چربی در نمونه‌های سس مایونز کاهش یافت این امر به‌دلیل کاهش ویسکوزیته در اثر کاهش چربی بود.

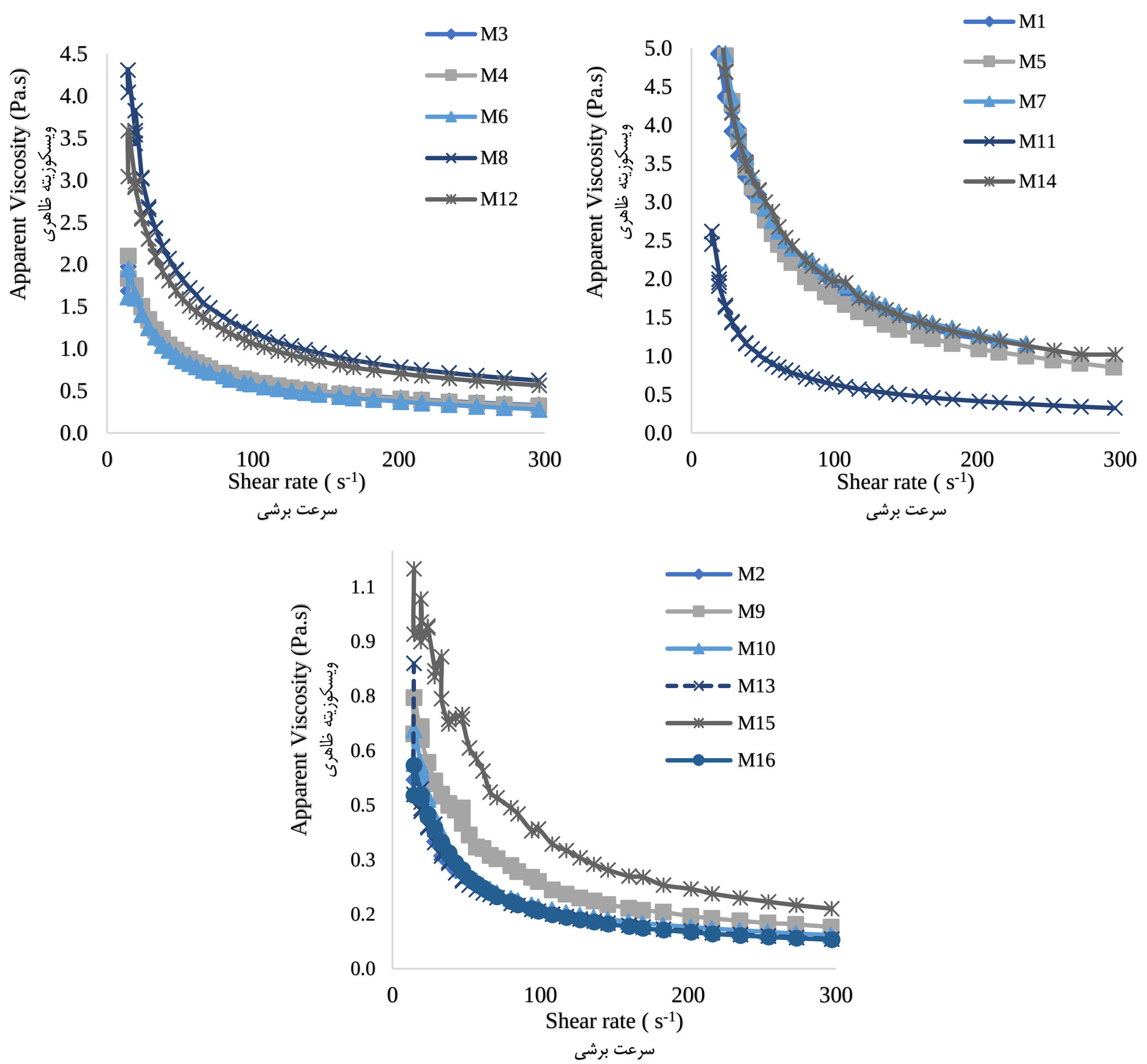


شکل ۳- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر ویسکوزیته و تنش تسلیم مدل بینگهام نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 3. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the viscosity and yield stress of Bingham's model of low-fat mayonnaise samples

ویسکوزیته ظاهری

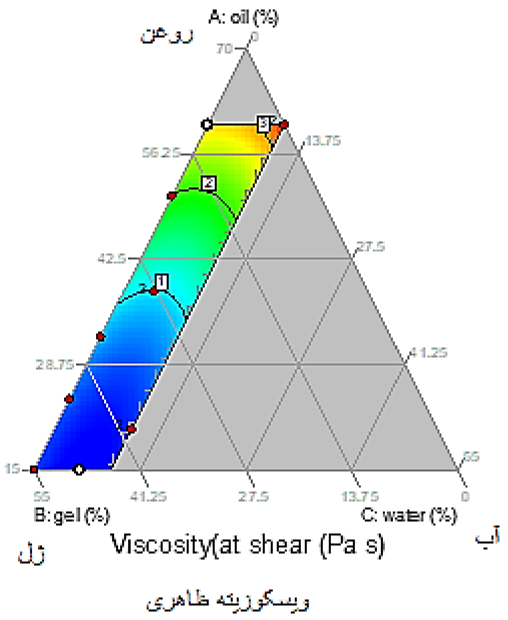
شکل ۴، ارتباط بین ویسکوزیته ظاهری و درجه برش نمونه‌های مایونز با درصدهای مختلف چربی و ژل آلوئه‌ورا را در نرخ برشی ۳۰۰-۱۴ بر ثانیه نشان داده است. تمام نمونه‌ها دارای رفتار رقیق‌شونده با برش بودند و با افزایش درجه برش، ویسکوزیته ظاهری کاهش‌یافته است. در یک امولسیون غلیظ، به‌هم‌پیوستگی ذرات، منجر به شکل‌گیری شبکه سه‌بعدی از ذرات تجمع یافته می‌گردد، با ایجاد نیروی برشی بر روی امولسیون، ذرات تجمع یافته به‌صورت پیش‌رونده تخریب شده و مقاومت امولسیون به جریان کاهش می‌یابد، این امر موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری امولسیون در طی زمان می‌شود(Alkabaa *et al.*, 2024). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در سرعت‌های برشی پایین، ویسکوزیته ظاهری به‌سرعت کاهش یافته است. درحالی‌که در سرعت‌های بالاتر، روند کاهش ویسکوزیته آهسته می‌باشد. زیرا با افزایش سرعت برشی به میزان مورد نیاز جهت غلبه بر حرکت براونی، ذرات امولسیون بیشتر در جهت جریان قرارگرفته و مقاومت کمتری نسبت به جریان یافتن خواهند داشت که این مسئله سبب کاهش ویسکوزیته می‌شود. ثابت ماندن ویسکوزیته در نرخ‌های برشی بالا، به‌دلیل باقی ماندن ذرات به همان حالت اولیه در جهت جریان می‌باشد که این موضوع باعث ثابت ماندن ویسکوزیته ظاهری می‌شود (Aalami *et al.*, 2023). باتوجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان دریافت که ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن، کاهش یافته است و در هنگام اعمال تنش، ویسکوزیته سریع تر به‌حد تعادلی رسیده است که شکل ۵ مؤید این مطلب است. بنابراین این نتیجه حاصل می‌شود که ویسکوزیته نمونه‌ها به درصد چربی و ژل آلوئه‌ورا و سرعت برش بستگی دارد که با افزایش سرعت برش و کاهش میزان چربی و افزایش ژل، ویسکوزیته سریعتر کاهش یافته و به حد تعادلی نزدیک شده است.



شکل ٤- اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب

Fig. 4. Flow curves of mayonnaise representing apparent viscosity as a function of shear rate

سس‌های مایونز در این پژوهش رفتار غیرنیوتنی رقیق‌شونده با برش نشان دادند. برای مطالعه ارزیابی حسی و احساس دهانی از داده‌های گرانروی در سرعت برشی ۵۰ بر ثانیه استفاده شد. معادله Y_5 در جدول ۱ پیوست، نشان‌دهنده معنی‌داری تأثیر خطی متغیرهای مستقل روغن، ژل و آب در سطح احتمال ($p<0/001$) و معنی‌داری تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) در سطح احتمال ($p<0/05$) بود. باتوجه به شکل ۵، با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) ویسکوزیته ظاهری کاهش یافته است. دلیل این موضوع نقش چربی در ایجاد ویسکوزیته فرآورده‌های غذایی می‌باشد بنابراین کاهش چربی باعث کاهش این ویژگی خواهد شد؛ زیرا هنگامی که فاز روغن افزایش می‌یابد، ذرات به یکدیگر نزدیک شده و ذرات روغن به‌صورت توده‌ای کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، در نتیجه واکنش‌های بین ذره‌ای قوی‌تر شده و ویسکوزیته که به‌معنای مقاومت در برابر جریان است، افزایش می‌یابد (Jafarpour, 2022). اعلمی و همکاران (Aalami *et al.*, 2023) در پژوهشی با بررسی تأثیر سطح چربی بر مقدار این ویژگی، چربی را عامل افزایش ویسکوزیته معرفی کردند. بنابراین در این پژوهش با افزایش ژل آلوئه‌ورا و کاهش روغن، فاز آبی بیشتر شده و روغن جهت تشکیل امولسیون پایدار در سس مایونز کاهش‌یافته و متعاقب آن نیز گرانروی کاهش یافته است.



شکل ۵- نمودار کانتور ثر متقابل روغن-ژل بر ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 5. Contour plot of the effects interaction oil-gel on the viscosity apparent of low-fat mayonnaise samples

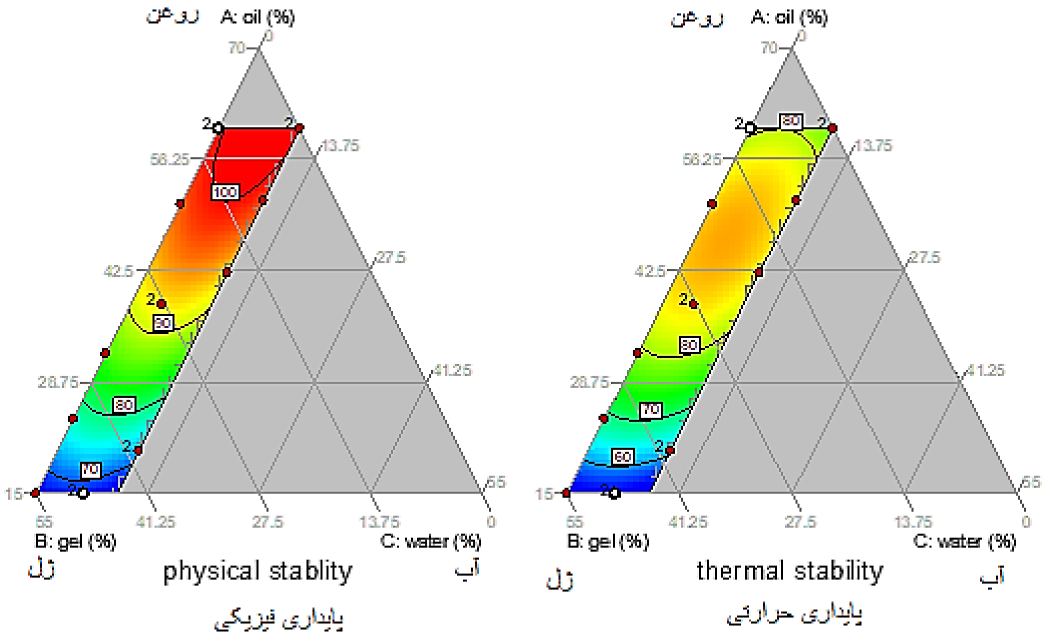
پایداری فیزیکی و حرارتی

امولسیون‌های محتوی مقدار زیاد چربی پایداری مناسبی دارند. زیرا ذرات به‌طور کامل به هم پیوسته بوده و نمی‌توانند حرکت کنند درنتیجه ناپایداری در این امولسیون‌ها رخ نمی‌دهد (Katsaros *et al*., 2020). معادلات Y_6 و Y_7 ارائه‌شده در جدول ۱ پیوست، نشان‌دهنده معنی‌داری تأثیر خطی متغیرهای مستقل روغن، ژل و آب در سطح احتمال ($p<0/001$) و معنی‌داری تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) برای پایداری فیزیکی در سطح احتمال ($p<0/05$) و برای پایداری حرارتی در سطح احتمال ($p<0/001$) بودند. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) پایداری فیزیکی و حرارتی کاهش یافت (شکل ۶). یکی از عوامل مؤثر در پایداری نمونه‌های مایونز بر طبق قانون استوک ویسکوزیته نمونه‌ها می‌باشد. مطابق این قانون هر چه گرانروی فاز پیوسته بیشتر باشد، سرعت جداسازی فازها کمتر و امولسیون پایدارتر خواهد بود، در حالی‌که کم بودن گرانروی، باعث افزایش حرکت ذرات و درنتیجه افزایش سینرزیس می‌شود (Ozcan *et al*., 2023). بنابراین در این پژوهش باتوجه به اینکه ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا روند کاهشی داشته است بر همین اساس، پایداری نمونه‌ها هم با افزایش درصد جایگزینی ژل کاهش یافت. لازم به ذکر است، که پایداری حرارتی نمونه‌های سس مایونز در قیاس با پایداری فیزیکی نمونه‌ها در این پژوهش کمتر بوده است که به‌دلیل شوک حرارتی ناشی از افزایش دما می‌باشد که منجر به شکستن ساختار مولکول‌ها و افزایش آزادی و تحرک مولکول‌ها می‌شود. درنتیجه گرانروی بیشتر کاهش یافته و متعاقب آن پایداری حرارتی امولسیون نسبت به پایداری فیزیکی بیشتر، کاهش می‌یابد. در همین راستا کاتساروس و همکاران (Katsaros *et al*., 2020) و شایگان نیا و همکاران (Shaygannia *et al*., 2021) به نتایج مشابهی دست یافتند. این پژوهشگران گزارش نمودند که دلیل کاهش میزان پایداری نمونه‌های سس مایونز برپایه لبنیات، مطابق قانون استوک کاهش ویسکوزیته نمونه‌ها می‌باشد.

ویژگی‌های بافتی

باتوجه به مدل‌های منتخب برای پاسخ‌های سفتی، قوام، نیروی چسبندگی و چسبندگی در جدول ۳ پیوست، متغیرهای مستقل روغن، ژل و آب دارای تأثیر خطی معنی‌دار در سطح احتمال ($p<0/001$) و متغیرهای روغن-ژل (AB) دارای اثر متقابل معنی‌دار در سطح احتمال ($p<0/05$) بودند. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر آب ویژگی های بافتی سس مایونز همچون سفتی، قوام، نیروی چسبندگی و چسبندگی نمونه‌ها کاهش یافت (شکل ۷). لی و همکاران (Li *et al*., 2020) با بررسی خصوصیات رئولوژیکی و بافتی مایونز کم‌چرب با جایگزین‌های چربی مختلف گزارش نمودند ویسکوزیته تا اندازه‌ای ولی نه به‌طور کامل می‌تواند ویژگی‌های بافتی را منعکس کند، این محققان بیان کردند کاهش قطر قطرات روغن سبب افزایش سطح تماس بین قطرات شده

درنتیجه ویسکوزیته افزایش یافته که منجر به سفت شدن بافت امولسیون می‌شود.



شکل ٦- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر پایداری فیزیکی و حرارتی نمونه‌های مایونز کم‌چرب

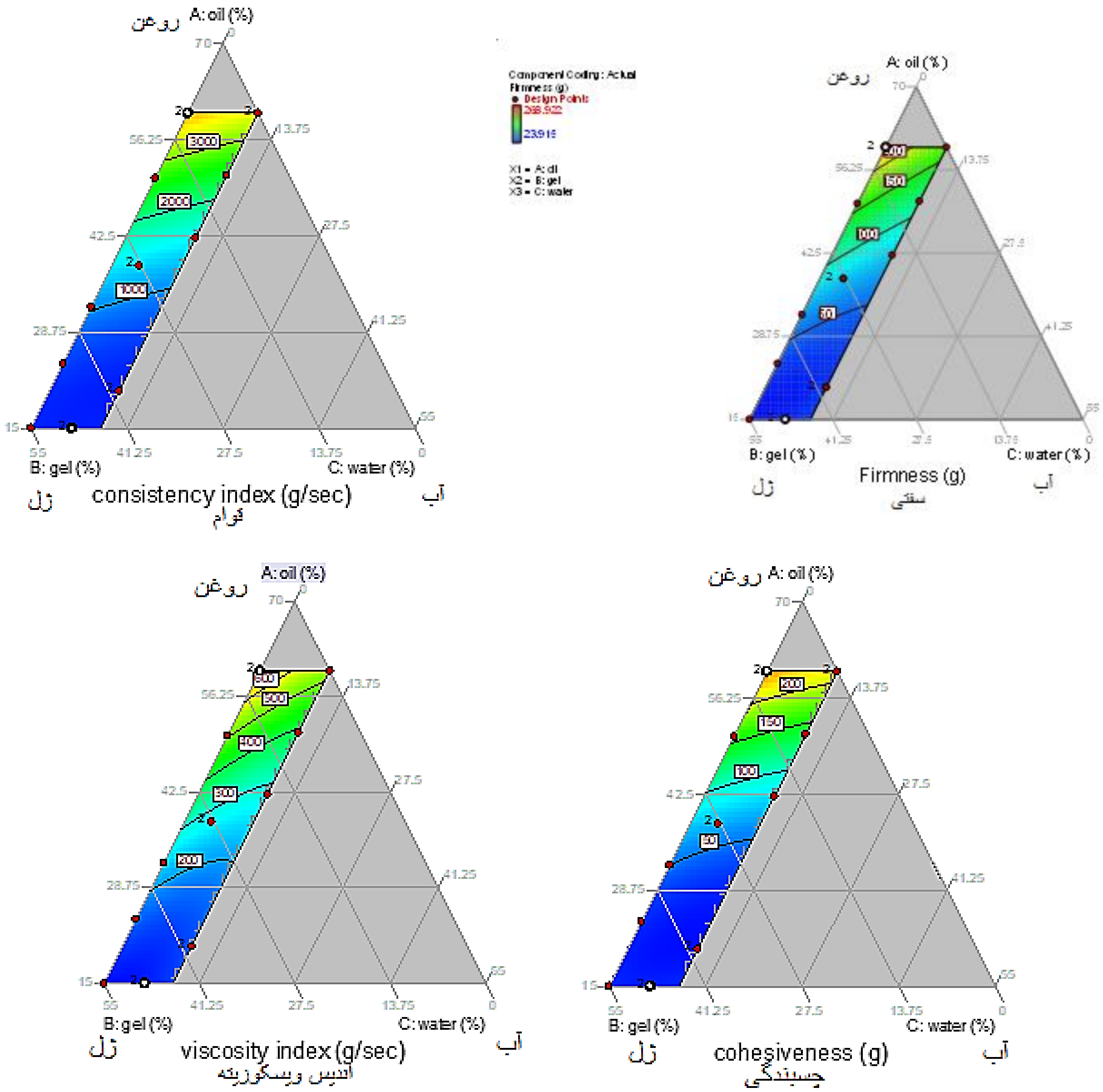
Fig. 6. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the physical and thermal stability of low-fat mayonnaise samples

باتوجه به فرضیه چادل و همکاران (Schädle *et al*., 2022) مبنی بر وجود رابطه میان ویسکوزیته و ویژگی‌های بافتی می‌توان کاهش ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی دکسترین ذرت را عامل کاهش خصوصیات بافتی دانست. زیرا افزایش درصد جایگزینی باعث نرم شدن محصول و کاهش ویژگی‌های بافتی شده است. این نتایج با نتایج پژوهشی محمدعلیزاده سامانی و گلی (Mohammadalizade Samani & Goli, 2018) مبنی بر استفاده از شیر کنجاله فندق به‌عنوان جایگزین زرده تخم مرغ مطابقت داشت. دامیان و همکاران (Damian *et al*., 2018) نیز با بررسی صمغ‌های هیدروکلوئیدی مختلف در تولید سس مایونز کم‌چرب بیان کردند که سفتی، نیروی چسبندگی و چسبندگی نمونه‌های دارای صمغ نسبت به سس مایونز-های معمولی بیشتر است، آنها علت این امر را اینگونه تفسیر کردند؛ صمغ‌ها با ایجاد ساختاری ژل مانند قطرات روغن را به دام انداخته و حرکت آنها را کاهش داده و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند در نتیجه باعث بهبود ویژگی‌های بافتی امولسیون می‌شوند. جعفرپور (Jafarpour, 2020) تأثیر استفاده از صمغ کنجاک به‌عنوان جایگزین چربی بر خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی سس مایونز کم‌چرب بررسی کردند. نتایج گویای این بود که سفتی بافت و ویسکوزیته ظاهری با افزایش صمغ به طور قابل توجهی افزایش یافت، در حالی که نمونه حاوی ۱ ٪ صمغ کنجاک مشابه نمونه کنترل پرچرب بود. صمغ کنجاک ۱ ٪ به‌دلیل خواص فیزیکوشیمیایی مطلوب و بافت و طعم قابل قبول می‌تواند به‌عنوان جایگزین چربی برای تهیه سس مایونز کم‌چرب استفاده شود. پی و همکاران (Pei *et al*., 2023) نیز امکان استفاده از ژل کنجاک میکرونیزه شده به‌عنوان مقلد چربی در سس مایونز گزارش نمودند که با افزایش درصد جایگزینی ژل، نیروی چسبندگی و اندیس ویسکوزیته که خواص فاز مایع را نشان می‌دهند کاهش یافت.

شاخص رنگی

سس مایونز یک غذای پرچرب است که به‌دلیل اکسیداسیون خودکار اسیدهای چرب غیراشباع، مستعد تخریب اکسیداتیو است که بر خواص رنگ تأثیر می‌گذارد (Alkabaa *et al*., 2024). در میان فاکتورهای رنگی، میزان روشنایی تأثیر بسزایی در میزان پذیرش مصرف‌کننده دارد (Ozcan *et al*., 2023). باتوجه به جدول ۳ پیوست، تأثیر متقابل معنی‌داری بین روغن-ژل آلوئه‌ورا (AB) در سطح احتمال (p<۰/۰۵) بود. ابتدا با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا از ۵ تا ۲۷/۵ ٪ و کاهش روغن از ۶۰ تا ۳۷/۵ ٪ در نقطه مرکزی متغیر آب، شفافیت نمونه‌ها افزایش یافت، سپس به‌تدریج با افزایش درصد

جایگزینی ژل آلوئه‌ورا از ۲۷/۵ تا ۵۰ ٪ و کاهش روغن از ۳۷/۵ تا ۱۵ ٪ در نقطه مرکزی متغیر آب از میزان شفافیت نمونه‌ها کاسته شد (شکل ۸). همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، بیشترین میزان شفافیت در قسمت مرکزی فضای آزمایشی شکل می‌باشد. وانگ و همکاران (Wang *et al.*, 2022) با بررسی خصوصیات پایداری و رئولوژیکی مایونزهای کم‌چرب تولید شده با استفاده از روغن سویا گزارش کردند که نمونه‌هایی با محتوای چربی بالاتر و اندازه قطرات چربی کوچکتر دارای L* بالایی هستند که ناشی از شکست خوب نور می‌باشد، زیرا روغن سویا محتوای آب بیشتر و لسیتین کمتری نسبت به زرده تخم مرغ دارد.



شکل ۷- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر سفتی، قوام، چسبندگی و اندیس ویسکوزیته نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 7. Contour plot of the effects interaction oil-gel on the firmness, consistency, cohesiveness and viscosity index of low-fat mayonnaise samples

بنابراین باتوجه به این پژوهش دلیل افزایش شفافیت در درصدهای پایین جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و بالا بودن درصد روغن را می‌توان به بالا بودن میزان چربی اشاره کرد. از طرفی کاهش شفافیت با افزایش درصد جایگزینی ژل را می‌توان به کم بودن شفافیت ژل آلوئه‌ورا نسبت داد.

فاکتور *b، بیانگر میزان زردی نمونه هاست که به لحاظ ظاهری در پذیرش سس مایونز بسیار مؤثر است. مؤلفه رنگی *b+ نشاندهنده میزان زردی و *b− نشاندهنده میزان آبی بودن در مواد غذایی است. نتایج آنالیز واریانس مدل شاخص رنگی *b نشان‌دهنده معنی‌داری اثر متقابل روغن–ژل آلوئه ورا (AB) در سطح اطمینان ۹۵ ٪ بود. به‌طوری‌که با افزایش ژل آلوئه ورا از ۵ تا ۵/۲۷ ٪ و کاهش روغن از ۶۰ تا ۳۷/۵ ٪ در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) اندیس *b کاهش یافت. دلیل این امر کاهش روغن بود. موسی‌خانی گنجه (Mousakhani-Ganjeh, 2021) در پژوهشی با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم‌کالری با استفاده از نشاسته ذرت پیش ژلاتینه، دلیل کاهش اندیس *b را افزودن نشاسته در فرمولاسیون و کاهش میزان روغن آن نسبت به شاهد بیان کردند. همچنین سیدمحمدی فرد و همکاران (Seid Mohammadi fard *et al.*, 2023) با بررسی موسیلاژ دانه چیا به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون سس مایونز کم‌چرب به این نتیجه رسیدند که با کاهش روغن و افزایش درصد جایگزینی موسیلاژ شاخص رنگی *b کاهش یافت، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. اما اندیس *b با افزایش درصد جایگزینی ژل از ۵/۲۷ ٪ تا ۵۰ ٪ و کاهش روغن از ۵/۳۷ ٪ تا ۱۵ ٪ افزایش یافت دلیل این امر می‌تواند به علت مایع زردرنگ و تلخ مزه در بافت پارانشیمی برگ آلوئه ورا باشد که به‌دلیل حضور احتمالی در ژل استخراجی با افزایش درصد ژل در فرمولاسیون سبب افزایش زردی نمونه‌ها شد. نتایج این پژوهش با نتایج میرغفوری (Mirghafoori, 2016) مطابقت داشت. این محققین با بررسی خواص سس مایونز کم‌چرب حاوی ژل آلوئه ورا به‌عنوان جایگزین چربی و شیر سویا به‌عنوان جایگزین تخم مرغ این طور بیان نمودند که با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه ورا و شیر سویا شاخص روشنایی کاهش و شاخص زردی افزایش یافت.

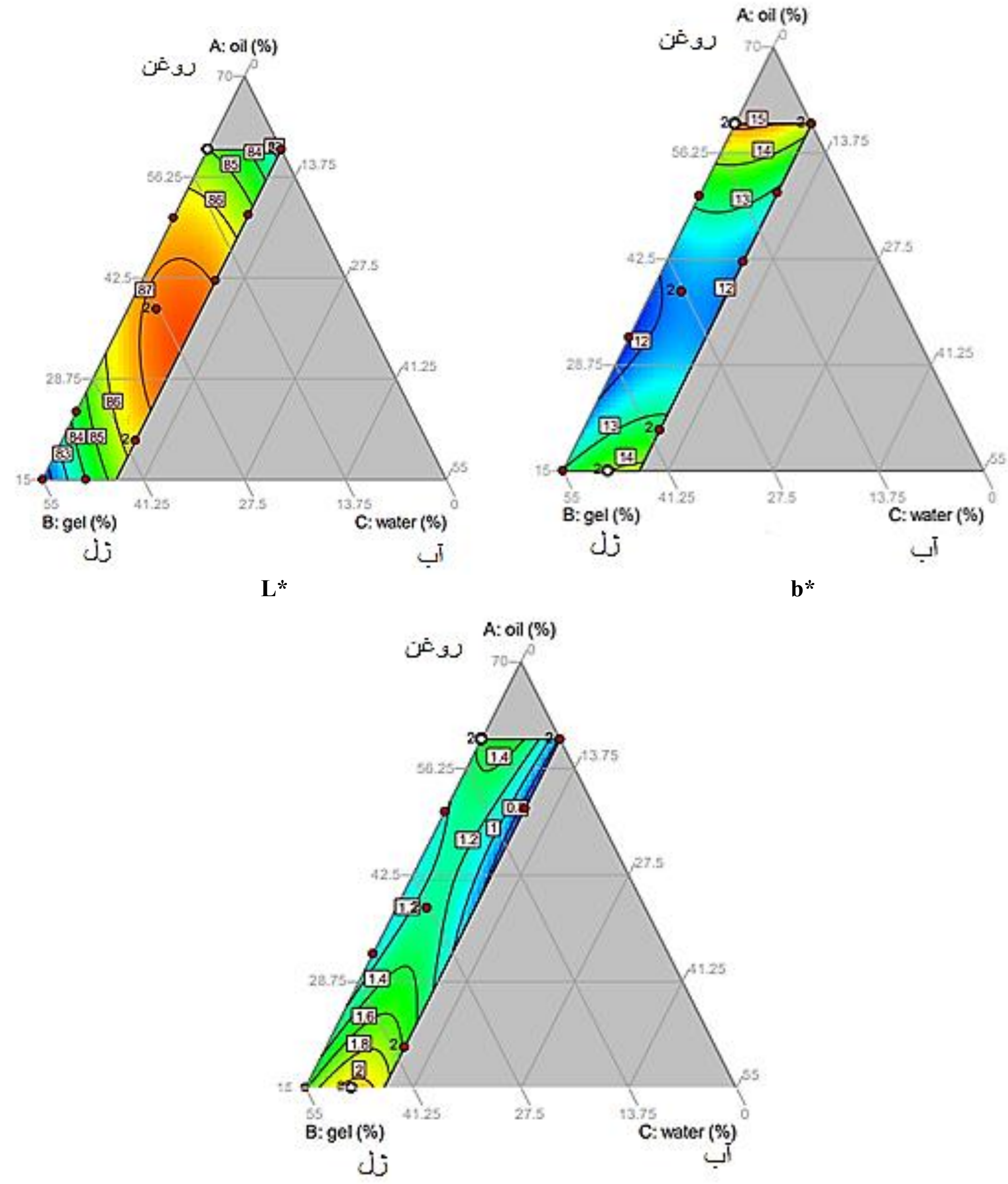
مؤلفه رنگی *a+ نشان‌دهنده میزان قرمزی و *a- نشان‌دهنده میزان سبز بودن در مواد غذایی است. مقدار *a در این پژوهش در تمام نمونه‌ها منفی بود و مقدار منفی بیانگر رنگ سبز است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که عبارت‌های معنی‌دار برای *a اثر خطی ژل، روغن، آب و اثر متقابل روغن–ژل آلوئه ورا (AB) در سطح اطمینان ۹۵ ٪ بود. با افزایش درصد جایگزینی ژل و کاهش روغن منفی بودن *a یا گرایش به سبزی افزایش یافت. دلیل این امر می‌تواند حضور رنگدانه‌های سبز برگ آلوئه ورا در ژل استخراج شده باشد که با افزایش درصد جایگزینی ژل باعث افزایش رنگ سبز در نمونه‌های مایونز شده است (Mirghafoori, 2016). سیدمحمدی فرد و همکاران (Seid Mohammadi fard *et al.*, 2023) نیز نشان دادند که با جایگزینی موسیلاژ دانه چیا به‌عنوان جایگزین چربی، گرایش به سبزی در نمونه‌ها مشاهده شد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش حاضر که با جایگزینی ژل آلوئه ورا گرایش به سبزی در نمونه‌ها مشاهده شد مطابقت داشت. دامیان و همکاران (Damian *et al.*, 2018) در پژوهشی پایداری و خواص رئولوژیکی برخی از سس مایونز کم چرب با صمغ زانتان و گوار را بررسی کردند. سس مایونز کم‌چرب در مقایسه با سس مایونز پرچرب، *L بالاتر، *a و *b کمتری را نشان داد. پارک و همکاران (Park *et al.*, 2020) نشان دادند که می‌توان نشاسته اصلاح شده تاپیوکای ۳۰ ٪ را در سس مایونز به‌عنوان جایگزین چربی استفاده کرد. ریس و همکاران (Reis *et al.*, 2023) ویژگی‌های سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با استفاده از بتاگلوکان را بررسی کردند و طبق نتایج با کاهش میزان روغن، کاهش روشنی را گزارش نمودند. اوزکان و همکاران (Ozcan *et al.*, 2023) نشان دادند که افزایش قطر اندازه ذرات و کاهش افتراق نور در نمونه‌هایی با درصد جایگزینی بالاتر می‌تواند دلیل کاهش روشنایی مایونز باشد. لذا باتوجه به نتایج پژوهشی این محققان می‌توان عنوان کرد که جایگزینی ژل آلوئه‌ورا باعث افزایش اندازه قطر ذرات امولسیون شده و متعاقباً سبب کاهش شفافیت نمونه‌ها گردیده است.

بهینه‌یابی فرمولاسیون سس مایونز براساس متغیرهای مستقل فرمول (روغن، ژل و آب) و پاسخ‌های بهینه‌یابی شامل ویژگی‌های بافتی و پایداری توسط نرم افزار Design Expert انجام شد. براساس نتایج بدست آمده، مقادیر بهینه متغیرهای مستقل به‌ترتیب روغن (۴۰٪)، ژل آلوئه‌ورا (۳۰٪) و آب (۰٪) جهت تولید مایونز کم‌چرب بود (شکل ۹). در ادامه، مقادیر پیشگویی شده توسط مدل بهینه و مقادیر به‌دست آمده از آزمایش واقعی برای ناحیه بهینه در جدول ۳ گزارش شده است که بیانگر توان بالای مدل در برازش داده‌هاست.

ارزیابی حسی

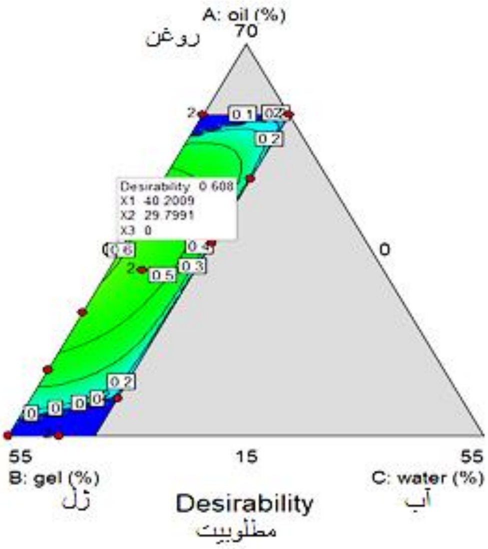
ارزیابی حسی شامل شاخص‌های رنگ، بو، طعم، بافت، ظاهر و پذیرش کلی بین نمونه شاهد فاقد ژل آلوئه ورا (۶۰ ٪ روغن) و نمونه بهینه ۳۰ ٪ ژل آلوئه ورا (۴۰ ٪ روغن) بررسی شد. رنگ یک ویژگی مهم محصولات غذایی می‌باشد که با توجه به میزان اثرگذاری هر جزء بر رنگ محصول می‌تواند بر درک مصرف‌کننده از اجزای تشکیل دهنده غذا مؤثر باشد. نتایج آنالیز حسی نشان داد بین رنگ نمونه شاهد و بهینه

سس مایونز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). درواقع افزودن ژل آلوئه ورا به‌عنوان جایگزین بخشی از چربی تأثیر چندانی بر رنگ نمونه شاهد و بهینه نداشت. درک بو ناشی از قرار گرفتن مولکول‌های فرار ماده غذایی بر روی سلول‌های گیرنده بو در بینی می‌باشد. بوی غالب در فرمولاسیون سس مایونز مربوط به سرکه به کار گرفته شده در این محصول می‌باشد. با توجه به جدول ۴ بین بو و طعم نمونه شاهد و بهینه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بافت ویژگی حسی است که فقط توسط انسان و بعضی ابزارهای اندازه‌گیری که در ارتباط با پاسخ‌های حسی هستند، دریافت و توصیف می‌شوند.



شکل ۸- نمودار کانتور مثلثی اثر متقابل روغن-ژل بر شاخص‌های رنگی نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 8. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the low-fat mayonnaise samples



شکل ۹- نمودار کانتور مثلثی ناحیه بهینه

Fig. 9. Contour plot of the of the optimal zone

جدول ۳- مقایسه مقادیر پیشگویی شده توسط مدل بهینه و مقادیر به‌دست آمده از آزمایش واقعی برای ناحیه بهینه

Table 3- Comparison of predicted and experimental values at the optimum point

فاکتورهای بهینه‌سازی Optimization factors	مقادیر پیشگویی شده توسط مدل بهینه Values predicted by the optimal model	مقادیر حاصل از آزمایش Values obtained from the experiment
پایداری فیزیکی Physical stability	91.855	91.48
پایداری حرارتی Thermal stability	84.683	80.045
سفتی Hardness	98.143	52.518
قوام Consistency	2085.825	1022.716
چسبندگی Tackiness	85.268	48.591
ویسکوزیته Viscosity	340.890	207.445

برخلاف رنگ و طعم، بافت ماده غذایی برای مصرف‌کنندگان شاخصی از ایمنی ماده غذایی نمی‌باشد، اما شاخصی از کیفیت ماده غذایی است. ذرات چربی عامل اصلی ایجاد بافت نسبتاً غلیظ در سس مایونز می‌باشند، لذا کاهش میزان روغن باعث از بین رفتن بافت مطلوب فرآورده می‌شود. نتایج آزمون حسی نشان داد که با جایگزینی ژل آلوئه ورا و کاهش روغن از میزان سفتی بافت کاسته شده است و درنتیجه اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و بهینه ازلحاظ سفتی بافت وجود داشت (جدول ۴). ظاهر یک محصول شامل رنگ و دیگر ویژگی‌های ظاهری مانند شکل ظاهری (شکل، اندازه و بافت)، ویژگی‌های نوری (انعکاس، عبور نور، براقی و....) و ویژگی‌های دیگر (جابجایی، جریان و....) می‌باشد. نتایج آزمون حسی نشان داد که بین نمونه شاهد و بهینه از لحاظ ظاهر اختلاف معنی‌داری وجود داشت. زیرا شفافیت ژل آلوئه ورا نسبت به روغن کمتر است. همچنین ژل آلوئه ورا به علت داشتن حباب‌های هوا باعث کاهش یکنواختی نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد شده است. پذیرش کلی محصول نیز نشان‌دهنده اثر مجموع صفات بافتی و غیر بافتی آن بر مصرف‌کننده می‌باشد. بنابراین بین نمونه شاهد و بهینه با وجود اختلاف معنی‌دار در ویژگی‌های بافت و ظاهر، از لحاظ پذیرش کلی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

جدول ٤- نتایج ارزیابی پارامترهای حسی سس مایونز شاهد و بهینه
Table 4- Evaluation results of control and optimal mayonnaise sensory parameters

تیمار Treatment	رنگ Color	بو Smell	طعم Taste	بافت Texture	ظاهر Appearance	پذیرش کلی Overall Acceptance
شاهد Control	4.08±0.66[a]	3.25±1.05[a]	3.5±1.08[a]	4.58±0.51[a]	4.25±0.75[a]	3.83±0.93[a]
بهینه Optimum	3.83±0.71[a]	3.66±1.07[a]	3.33±1.07[a]	2.91±0.9[b]	3.16±0.83[b]	3.58±0.99[a]

*میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵ ٪ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بهینه‌سازی جایگزینی چربی با ژل آلوئه‌ورا و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی سس مایونز کم‌چرب انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد، که جایگزینی ژل آلوئه‌ورا بر محتوای pH، اسیدیته، پایداری، شفافیت و بافت نمونه‌ها اثرگذار بود و علاوه براین، منجر به رفتار رقیق شونده با برش و کاهش ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها گردید. بنابراین باتوجه به داده‌های حاصل از آزمون‌های مختلف فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی و با درنظر گرفتن اینکه بیشترین میزان ژل آلوئه‌ورا را آب تشکیل می‌دهد برای اینکه پلی‌ساکاریدهای موجود در ژل بتوانند خاصیت جذب آب خود را بهتر نشان بدهند از ترکیب با سایر هیدروکلوئیدهای تجاری و صمغ‌ها استفاده گردد، تا با جذب آب اضافی امولسیون، از طریق افزایش ویسکوزیته، نتیجه بهتری حاصل شود. در نهایت بهینه‌سازی فرمولاسیون براساس متغیرهای مستقل و پاسخ‌های بهینه‌یابی نشان داد که ژل آلوئه‌ورا به‌تنهایی در حد ۳۰٪ قابلیت استفاده در سس مایونز را دارد.

سپاسگزاری

از کارکنان و مسئولین پژوهشی و آموزشی دانشگاه فردوسی مشهد که در تأمین امکانات لازم و مراحل اجرایی این پژوهش همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود (کد طرح: ۲۶۶۳۵۳۲).

مشارکت نویسندگان

مریم اکبری: گردآوری داده‌ها، تحلیل داده‌ها، تحقیق، نگارش پیش‌نویس اصلی. **محمد جواد وریدی:** مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، روش‌شناسی، مدیریت پروژه. **مهدی وریدی:** مفهوم‌سازی، بررسی آنالیزها، روش‌شناسی، نظارت. **هانیه یاربی:** نرم‌افزار، نظارت، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش مقاله.

منابع تأمین مالی

این پژوهش با حمایت مالی از دانشگاه فردوسی مشهد (گرنت شماره طرح ۲۶۶۳۵۳۲) انجام شد.

References

1. Aalami, M., Rahbari, M., Ahmed, S.A., Mahoonak, A.S., Kashaninejad, M., & Hassanzadeh, H. (2023). Formulation of functional mayonnaise with defatted wheat germ flour as egg yolk substitute: Rheological, textural and stability analyses. *Food Science and Preservation*, *30*(3), 405-418. https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.3.405
2. Adhav, A.S., Patil, O.A., Kadam, S.V., & Bhutkar, M.A. (2020). Review on Aloe vera is used in medicinal plant. *Asian Journal of Research in Pharmaceutical Science*, *10*(1), 26-30. https://doi.org/10.4236/pp.2013.48086
3. Alkabaa, A.S., Akcicek, A., Taylan, O., Balubaid, M., Alamoudi, M., Gulzar, W.A., & Karasu, S. (2024). Production of novel bigels from cold pressed Chia seed oil by-product: Application in low-fat mayonnaise. *Foods*, *13*(4), 574. https://doi.org/10.3390/foods13040574
4. Blok, A.E., Bolhuis, D.P., Arnaudov, L.N., Velikov, K.P., & Stieger, M. (2023). Influence of thickeners (microfibrillated cellulose, starch, xanthan gum) on rheological, tribological and sensory properties of low-fat mayonnaises. *Food Hydrocolloids*, *136*, 108242. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108242
5. Damian, C., Ropciuc, S., Leahu, A., & Oroian, M.A. (2018). Stability and rheological properties of some fat-reduced mayonnaise with different fat mimics. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, *18*(6.2), 573-580. https://doi.org/10.5593/sgem2018/6.2/S25.076
6. Jafarpour, D. (2022). Study the effect of Konjac gum (*Amorphophallus konjac*) as a fat substitute on the physico-chemical, rheological and sensory properties of low-fat mayonnaise. *Journal of Innovation in Food Science & Technology*, *14*(1).
7. Kaneda, I., & Shibata, S. (2020). Rheological properties of low oil mayonnaise by replacing oil droplets with agar micro-gels. *Nihon Reoroji Gakkaishi*, *48*(2), 113-120. https://doi.org/10.1678/rheology.48.113

8. Katsaros, G., Tsoukala, M., Giannoglou, M., & Taoukis, P. (2020). Effect of storage on the rheological and viscoelastic properties of mayonnaise emulsions of different oil droplet size. *Heliyon*, *6*(12). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05788
9. Li, A., Gong, T., Hou, Y., Yang, X., & Guo, Y. (2020). Alginate-stabilized thixotropic emulsion gels and their applications in fabrication of low-fat mayonnaise alternatives. *International Journal of Biological Macromolecules*, *146*, 821-831. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.050
10. Majidova, N., Bozorov, D., Rakhmonov, K., & Akramova, P. (2024). Research of the stability of low-calorie mayonnaises and development of their formulation. In *E3S Web of Conferences, 548*, 02012. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454802012
11. Mirghafoori, S., & Rahimi, S. (2016). Evaluation of the physicochemical, emulsion and rheological properties of mayonnaise containing soy milk and Aloe vera gel. *Innovative Food Technologies*, *3*(3), 73-83. https://doi.org/10.22104/jift.2016.296
12. Mousakhani-Ganjeh, H., & Goli, M. (2021). Textural and sensory properties of reduced-fat mayonnaise prepared with pre-gelatinized cornstarch and Farsi gum. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, *9*(4), 363-374. https://doi.org/10.22101/JRIFST.2020.212592.1136
13. Mohammad Alizade Samani, E., & Goli, M. (2019). Optimization of mayonnaise formula using hazelnut meal milk as egg yolk substitute at various levels of Xanthan-Guar Gum and response surface methodology. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, *14*(3), 75-86.
14. Odep, L.A., Mahungu, S.M., & Omwamba, M.N. (2024). Physico-chemical, and sensory properties of mayonnaise substitute prepared from Chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) and gum Arabic from *Acacia senegal* var. kerensis. *Food and Nutrition Sciences*, *15*(9), 880-898. https://doi.org/10.4236/fns.2024.159056
15. Ozcan, I., Ozyigit, E., Erkoc, S., Tavman, S., & Kumcuoglu, S. (2023). Investigating the physical and quality characteristics and rheology of mayonnaise containing aquafaba as an egg substitute. *Journal of Food Engineering*, *344*, 111388. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111388
16. Park, J.J., Olawuyi, I.F., & Lee, W.Y. (2020). Characteristics of low-fat mayonnaise using different modified arrowroot starches as fat replacer. *International Journal of Biological Macromolecules*, *153*, 215-223. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.331
17. Pei, Y., Zhang, Y., Ding, H., Li, B., & Yang, J. (2023). Stability and rheological behavior of mayonnaise-like emulsion co-emulsified by Konjac glucomannan and whey protein. *Foods*, *12*(15), 2907. https://doi.org/10.3390/foods12152907
18. Raikos, V., Hayes, H., & Ni, H. (2020). Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: Recipe optimisation and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, *55(5)*, 1935-1942. https://doi.org/10.1111/ijfs.14427
19. Reis, S.F., Fernandes, P.A., Martins, V.J., Gonçalves, S., Ferreira, L.P., Gaspar, V.M., & Coelho, E. (2023). Brewer's spent yeast cell wall polysaccharides as vegan and clean label additives for mayonnaise formulation. *Molecules*, *28*(8), 3540. https://doi.org/10.3390/molecules28083540
20. Schädle, C.N., Bader-Mittermaier, S., & Sanahuja, S. (2022). Characterization of reduced-fat mayonnaise and comparison of sensory perception, rheological, tribological, and textural analyses. *Foods*, *11*(6), 806. https://doi.org/10.3390/foods11060806
21. Seid Mohammadifard, S.Z., Zarringhalami, S., Zandi, M., & Pakpour, M. (2023). Influence of the mucilage and chia seed (*Salvia hispanica* L.) oil addition on the physicochemical and sensory properties of yoghurt during storage time. *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, *19*(132). https://doi.org/10.22034/FSCT.19.132.237
22. Shaygannia, S., Eshaghi, M.R., Fazel, M., & Hashemiravan, M. (2021). The effect of microencapsulation of phenolic compounds from lemon waste by Persian and basil seed gums on the chemical and microbiological properties of mayonnaise. *Preventive Nutrition and Food Science*, *26*(1), 82. https://doi.org/10.3746/pnf.2021.26.1.82
23. Sonawane, S.K., Gokhale, J.S., Mulla, M.Z., Kandu, V.R., & Patil, S. (2021). A comprehensive overview of functional and rheological properties of aloe vera and its application in foods. *Journal of Food Science and Technology*, *58*, 1217-1226. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04661-6
24. Taghavi, E., Andriani, C., Nordin, N., Awang Seruji, A.Z.R., Wan Rasdi, N., & Abdul Hadi, N. (2024). Rheological and stability of mayonnaise-based Pickering emulsions stabilised by modified rice starch granules as a plant-based emulsifier. *International Journal of Food Science & Technology*. https://doi.org/10.1111/ijfs.17292
25. Wang, W., Hu, C., Sun, H., Zhao, J., Xu, C., Ma, Y., & Hou, J. (2022). Physicochemical properties, stability and texture of soybean-oil-body-substituted low-fat mayonnaise: effects of thickeners and storage temperatures. *Foods*, *11*(15), 2201. https://doi.org/10.3390/foods11152201
26. Yang, X., Gong, T., Lu, Y.H., Li, A., Sun, L., & Guo, Y. (2020). Compatibility of sodium alginate and konjac glucomannan and their applications in fabricating low-fat mayonnaise-like emulsion gels. *Carbohydrate Polymers*, *229*, 115468. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115468